

Теория относительности и ее влияние на научную мысль

Сэр Артур Стэнли Эддингтон

THE ROMANES LECTURE

1922

The
Theory of Relativity
and its
Influence on Scientific Thought

BY

ARTHUR STANLEY EDDINGTON

M.A., F.R.S.

Plumian Professor of Astronomy, Cambridge
President of the Royal Astronomical Society

DELIVERED

IN THE SHELDONIAN THEATRE

24 MAY, 1922

OXFORD

AT THE CLARENDON PRESS

1922

Электронная книга проекта "Гутенберг" о Теории относительности и ее влиянии на научную мысль

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Теория относительности и ее влияние на научную мысль

Автор: Сэр Артур Стэнли Эддингтон

Дата выхода: 12 марта 2023 [Электронная книга №70272]

Язык: Английский

Оригинальная публикация: Великобритания: The Clarendon Press, 1922

Кредиты: Лаура Натал Родригес (Изображения предоставлены цифровой библиотекой Hathi Trust).

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА "ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА ГУТЕНБЕРГА " ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА НАУЧНУЮ МЫСЛЬ " ***

ЛЕКЦИЯ РОМАНЦЕВ

1922

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ и ее влияние на научную мысль

АВТОР : АРТУР СТЭНЛИ ЭДДИНГТОН

M.A., F.R.S.

*Профессор астрономии Пламиан, Кембридж,
президент Королевского астрономического общества*

ПОСТАВЛЕНО
В ШЕЛДОНИАНСКОМ ТЕАТРЕ
24 МАЯ 1922 г.

ОКСФОРД
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ CLARENDON PRESS

1922

Разве более глубокая медитация не научила некоторых людей любого климата и эпохи, что "где" и "когда", столь таинственным образом неотделимые от всех наших мыслей, являются всего лишь поверхностными земными прилипалами к мысли?

КАРЛАЙЛ, *Сартор Ресартус*.

Издательство Оксфордского университета

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Во времена, предшествовавшие Копернику, земля, казалось, была незыблемым основанием, на котором зиждилась вся структура небес. Человек, благоприятно расположенный в центре вселенной, вполне мог ожидать, что для него схема природы раскроется в своем простейшем аспекте. Но поведение небесных тел было совсем не простым, и планеты буквально описывали петлю по фантастическим кривым, называемым эпициклами. Космогонисту пришлось наполнить небеса сферами, вращающимися одна над другой, чтобы планеты двигались по назначенным орбитам; колеса добавлялись к колесам, пока музыка сфер, казалось, почти не

утонула вразноголосице вращающихся механизмов. Затем произошла одна из великих революций в научной мысли, которая отбросила систему сфер и эпициклов Птолемея и открыла простой план солнечной системы, сохранившийся до наших дней.

Революция заключалась в изменении точки зрения, с которой рассматривались эти явления. В представлении земли траектория движения планеты представляет собой сложный эпицикл; но Коперник велел нам переместиться к солнцу и посмотреть еще раз. Вместо траектории с петлями и узлами орбита теперь рассматривается как одна из самых элементарных кривых — эллипс. Мы должны осознать, что маленькая планета, на которой мы находимся, не имеет большого значения в общей схеме природы; чтобы разгадать эту схему, мы должны сначала очистить природу от искажений, возникающих из-за местной точки зрения, с которой мы ее наблюдаем. Солнце, а не земля, является реальным центром схемы вещей — по крайней мере, тех вещей, которыми интересовались астрономы того времени, — и при переносе нашей точки зрения на солнце простота планетной системы становится очевидной. Необходимость в громоздком механизме из сфер и колес отпала.

Теперь все признают, что система Птолемея, считавшая землю центром всего сущего, относится к темным векам. Но, к нашему ужасу, мы обнаружили, что тот же самый *геоцентрический* подход все еще насквозь пронизывает современную физику, о чем до недавнего времени и не подозревали. Эйнштейну было поручено продолжить революцию, начатую Коперником, — освободить нашу концепцию природы от земных предубеждений, привнесенных в нее ограничениями нашего земного опыта. Чтобы достичь более нейтральной точки зрения, мы должны представить себе посещение какого-нибудь другого небесного тела. Это тема, которая привлекла популярного романиста, и мы часто улыбаемся его ошибкам, когда рано или поздно он забывает, где он должен быть, и наделяет своих путешественников каким-то чисто земным достоянием, невозможным на звезде, которую они посещают. Но ученые, у которых нет лицензии романиста, допустили ту же ошибку. Когда, следуя Копернику, они обосновываются на солнце, они не осознают, что должны оставить позади определенное чисто земное достояние, а именно, *рамки пространства и времени*, в которых люди на этой земле привыкли размещать происходящие события. Верно, что наблюдатель на Солнце по-прежнему будет помещать свои переживания в рамки пространства и времени, если он использует те же способности восприятия и те же методы научных измерений, что и на земле; но солнечные рамки пространства и времени не совсем совпадают с земными, как мы сейчас увидим.

Я думаю, вы легко поймете, что подразумевается под *рамкой* пространства и времени. Это система определения местоположения, к которой мы апеллируем, когда заявляем, например, что одно событие произошло на расстоянии 100 миль от другого и на 10 часов позже другого. Термины "пространство" и "время" имеют не только смутное описательное отношение к безграничной пустоте и вечно текущему потоку, но и обозначают точную количественную систему исчисления расстояний и временных интервалов. Первым великим открытием Эйнштейна было то, что существует множество таких систем счисления — множество возможных рамок пространства и времени — в точности совпадающих друг с другом. Ни один из них не может быть выделен как более фундаментальный, чем остальные; ни один каркас не может быть идентифицирован как строительные леса, используемые при построении мира. И все же одна из них предстает перед нами как действительное пространство и время нашего опыта; и мы отшатываемся от других эквивалентных рамок, которые кажутся нам искусственными системами, в которых расстояние и длительность смешаны необычайным

образом. В чем причина такого завистливого отбора? Это не определяется чем—то особенным в системе отсчета; это определяется чем-то особенным в нас самих - тем фактом, что наше существование привязано к определенной планете и наше движение - это движение этой планеты. *Природа* предлагает бесконечный выбор рамок; мы выбираем ту, в которой мы и наши мелкие земные заботы занимаем наиболее выдающееся положение. Наше вредное геоцентрическое мировоззрение неожиданно проявилось снова, убедив нас настаивать на этой земной пространственно-временной системе, которая в общей схеме природы никоим образом не превосходит другие системы.

Чем внимательнее мы изучаем процессы, посредством которых события распределяются по своим позициям в пространстве и времени, тем яснее мы видим, что наши местные обстоятельства играют в этом значительную роль. У нас не больше прав ожидать, что пространственно-временные рамки на солнце будут идентичны нашим рамкам на земле, чем ожидать, что сила тяжести там будет такой же, как и здесь. Если бы не было экспериментальных доказательств в поддержку теории Эйнштейна, она, тем не менее, достигла бы заметного прогресса, разоблачив ошибочность, лежащую в основе старого способа мышления, — ошибочность безоговорочного придания нашему земному исчислению пространства и времени значения, выходящего за рамки местного. Но существует множество экспериментальных данных для обнаружения и определения разницы между кадрами наблюдателей, находящихся в разных обстоятельствах. Большая часть доказательств носит слишком технический характер, чтобы обсуждать их здесь, и я могу сослаться только на эксперимент Майкельсона-Морли. Боюсь, что некоторым из вас, должно быть, порядком надоел эксперимент Майкельсона-Морли; но тем, кто идет на спектакль "Гамлет", приходится мириться с принцем Датским.

Этот знаменитый эксперимент представляет собой простую проверку того, распространяется ли свет с одинаковой скоростью в двух разных направлениях. Для этой цели сконструировано устройство с двумя равными рычагами под прямым углом, обеспечивающее две равные дорожки для света. Луч света делится на две части таким образом, что одна часть проходит вдоль одной руки и спины, а другая - вдоль другой руки и спины. Затем два луча вновь объединяются, и с помощью тонких интерференционных тестов можно определить, был ли один задержан больше, чем другой; задержка составляет менее тысячемиллиардной доли секунды. Эксперимент представляет собой просто гонку между двумя световыми лучами с одинаковыми траекториями, но направленными в разные стороны; результатом оказывается мертвая точка. На первый взгляд, это именно то, чего следовало бы ожидать; и можно почти задаться вопросом, почему было сочтено целесообразным провести этот эксперимент. Но Майкельсон, как хороший коперниканец, разместился на солнце, чтобы наблюдать за гонкой; соответственно, он понял, что аппарат движется по орбите Земли со скоростью 20 миль в секунду. Следовательно, фонарь не проходит точно двойную длину рычага; начиная с одного конца, он должен дойти до отметки поворота на другом конце, которая за это время немного продвинулась вперед; затем он возвращается к месту, до которого добиралась стартовая отметка во время гонки. Это не соответствует точно двойной длине руки. Произведя расчеты, мы легко обнаруживаем, что, хотя два рукава равны, два световых пути неравны; соперник, чей путь лежит по линии движения земли, имеет более длительный путь и находится в невыгодном положении. И все же, согласно эксперименту, он не испытывает ожидаемой задержки. С нашей точки зрения на солнце, эксперимент, похоже, пошел не так; Коперник встретил отпор, а Птолемей торжествует.

Но это потому, что мы не осознали всех последствий переноса нашей точки зрения на солнце. Мы все это время одной ногой стояли на земле. Конечно, весь эксперимент вращается вокруг двух рычагов, которые сначала были приведены к идеальному равенству. Это можно было установить только экспериментально; и применяемый тест заключался в повороте аппарата на прямой угол, так что, если, например, при перемещении по линии движения земли в одном случае было преимущество более короткого плеча, то при повторении поперечного перемещения оно было бы у него. Это совершенно удовлетворительный тест для наземного наблюдателя; поворачивать стержень из одного направления в другое - простой и прямой способ разметки равных длин. Но этот тест не удовлетворяет наблюдателя на солнце; ему и в голову не придет пытаться разделить равные отрезки пространства с помощью стержней, движущихся со скоростью 20 миль в секунду. Его пространственная структура — пространство не только для точных измерений, но и для более грубых измерений, производимых с помощью органов чувств его тела, которые определяют его восприятие пространства, — разделена приборами, находящимися в состоянии покоя относительно него, например, его собственными глазами и конечностями. Длина предметов, переносимых по земле, должна оцениваться им в соответствии с местом, которое они занимают в его собственном теле. В пространстве земного наблюдателя два рычага аппарата были отрегулированы на равную длину; но в перераспределенном пространстве солнечного наблюдателя они вполне могут занимать неодинаковую длину, и когда мы берем точку обзора наблюдателя на солнце, мы не должны упускать из виду это неравенство. Это неравенство является не столько гипотезой, предложенной для объяснения результата Майкельсона, сколько прямым выводом из него. Было обнаружено, что два путешествия налегке занимают одинаковое время; это ясно показывает, что рука в менее благоприятном направлении короче другой, чтобы уравновесить препятствие, о котором я говорил.^[1]

Когда прибор поворачивают под прямым углом, эксперимент по-прежнему дает тот же результат. Не имеет значения, какое из двух плеч мы поместим на линии движения земли; это плечо должно быть короче другого. Другими словами, каждая рука должна автоматически сокращаться при повороте из поперечного положения в продольное по отношению к своей линии движения. Это знаменитое сокращение движущегося стержня по Фицджеральду. Его количество одинаково независимо от материала стержня и зависит только от скорости его движения. При орбитальном движении Земли сокращение составляет одну часть из 200 миллионов; фактически диаметр земли в направлении ее движения всегда сокращается на $2\frac{1}{2}$ дюйма, при этом поперечный диаметр остается неизменным.

Это сжатие движущегося материального объекта было впервые открыто нам в эксперименте Майкельсона-Морли; но оно вовсе не противоречит теоретическим ожиданиям. Мы должны помнить, что стержень состоит из большого количества молекул, удерживаемых на своих местах за счет их взаимодействия. Главная сила - это сила сцепления, и нет никаких сомнений в том, что она имеет электрическую природу. Но когда стержень приводится в движение, электрические силы внутри него должны измениться. Например, каждый электрический заряд, приводимый в движение, становится *электрическим током*; и токи будут оказывать друг на друга магнитное притяжение, которого не было в системе в состоянии покоя. При новой системе сил молекулам придется находить новые положения равновесия; они станут располагаться по-другому; и поэтому неудивительно, что форма стержня изменится. Не выходя за рамки классических законов Максвелла, мы можем теоретически предвидеть, каким будет новое

состояние равновесия стержня, и оказывается, что он сжат именно до величины, требуемой результатом Майкельсона-Морли.

Сжатие движущегося стержня не должно нас удивлять; было бы гораздо более удивительно, если бы стержень сохранял ту же форму, несмотря на изменение электрических сил, которые определяют расстояние между молекулами. Но примечательно то, что сжатие очевидно только с точки зрения наблюдателя за солнцем; и мы на земле, путешествующие с жезлом, не можем оценить этого. Тот факт, что сжатие оказывается очень небольшим, не имеет значения. Для удобства предположим, что скорость земли в 8000 раз выше, так что сжатие составляет примерно половину первоначальной длины. Мы все равно не заметим этого в повседневной жизни. Предположим, что направление движения земли вертикально вверх.

Я поворачиваю руку из горизонтального положения в вертикальное, и она сокращается до половины своей длины. Нет, вы не сможете убедить меня, что я неправ; я не боюсь меры в ярд. Принесите один и измерьте мою руку; сначала по горизонтали, результат — 30 дюймов; теперь по вертикали, результат - 30 с половиной дюймов! Потому что вы должны помнить, что вы повернули шкалу в соответствии с линией движения земли, так что каждое дюймовое деление сокращается до половины дюйма. "Но мы видим, что ваша рука не сокращается. Должны ли мы не доверять своим глазам?" Конечно, нет, если вы сначала не скорректируете свои зрительные впечатления с учетом сокращения сетчатки в вертикальном направлении и влияния нашего быстрого движения на видимое направление распространения волн света. Когда вы рассчитаете эти поправки, вы обнаружите, что они просто скрывают сокращение. "Но если происходит сокращение, разве человек не должен чувствовать, что это происходит с рукой?" Не обязательно; я наблюдатель на земле, и мои ощущения, как и другие чувственные впечатления, относятся к геоцентрическому взгляду на природу, отказаться от которого убедил нас Коперник.

Возьмите циркуль и проведите им по листу бумаги. Получившаяся кривая является окружностью или эллипсом? Коперник со своей точки зрения на солнце заявляет, что из-за сжатия Фитцджеральда две точки сблизилась друг с другом при повороте в направлении орбитального движения земли; следовательно, кривая сглажена в эллипс. Но здесь, я думаю, Птолемей имеет право быть услышанным; он указывает, что с самого начала геометрии круги всегда рисовались циркулем именно таким образом, и что при упоминании слова "круг" каждый разумный человек понимает, что имеется в виду именно эта кривая. Одна и та же карандашная линия на самом деле является окружностью в пространстве земного наблюдателя и эллипсом в пространстве солнечного наблюдателя. Это одновременно движущийся эллипс и неподвижный круг. Я думаю, это как нельзя лучше иллюстрирует то, что мы подразумеваем под *относительностью пространства*.

Иногда высказываются претензии по поводу того, что вывод Эйнштейна о том, что рамки пространства и времени различны для наблюдателей с разными движениями, имеет тенденцию делать загадкой явление, которое, в конце концов, не является странным по своей сути. Мы видели, что это зависит от сжатия движущихся объектов, которое, как оказалось, вполне соответствует классической теории Максвелла. Но даже если нам удалось вразумительно объяснить это самим себе, это не делает это утверждение менее истинным! Новый результат часто может быть выражен различными способами; один способ утверждения может показаться менее загадочным; но другой способ может более четко показать, какими будут последствия изменения и расширения наших знаний. Именно по последней причине мы

подчеркиваем относительность пространства — что длины и расстояния различаются в зависимости от предполагаемого наблюдателя. Расстояние и продолжительность являются наиболее фундаментальными терминами в физике; скорость, ускорение, сила, энергия и так далее зависят от них; и мы едва ли можем сделать какое-либо утверждение в физике без прямой или косвенной ссылки на них. Несомненно, тогда мы можем наилучшим образом указать на революционные последствия того, что мы узнали, утверждением, что расстояние и продолжительность и все производные от них физические величины не относятся, как предполагалось до сих пор, к чему-либо абсолютному во внешнем мире, но являются относительными величинами, которые изменяются, когда мы переходим от одного наблюдателя к другому с различным движением. Последствия для физики открытия того, что ярд не является абсолютным отрезком пространства и что то, что для одного наблюдателя является ярдом, для другого наблюдателя может быть восемнадцатью дюймами, можно сравнить с последствиями для экономики открытия того, что фунт стерлингов не является абсолютной величиной богатства и при определенных обстоятельствах "на самом деле" может составлять семь шиллингов и шесть пенсов. Теоретик может посочинять, что это последнее утверждение имеет тенденцию делать загадкой валютные феномены, которые на самом деле имеют понятное объяснение; но это утверждение заслуживает похвалы для человека, разбирающегося в практическом применении валюты.

Птолемей на земле и Коперник на солнце оба созерцают одну и ту же внешнюю вселенную. Но их переживания различны, и именно в процессе переживания событий они вписываются в рамки пространства и времени — рамки, которые различаются в зависимости от местных обстоятельств наблюдателя, который их переживает. Это, как я понимаю, доктрина Канта: "Пространство и время - это формы опыта". Таким образом, рамки нет в мире; она предоставляется наблюдателем и зависит от него. И те отношения простоты, к которым мы стремимся, когда пытаемся получить представление о том, как функционирует вселенная, должны заключаться в самих событиях, прежде чем они будут произвольно вписаны в рамки. Максимум, на что мы можем надеяться от любого фрейма, - это на то, что он не исказит простоту, которая присутствовала изначально; в то время как неправильно выбранный фрейм может внести хаос в естественную простоту вещей. Мы видели, что простота движения планет была затемнена в системе Птолемея и стала очевидной в системе Коперника. Но для обычных земных явлений ситуация обратная, и система Птолемея позволяет их естественной простоте стать очевидной. В системе Коперника самые простые явления вызываются чрезвычайно сложными процессами, которые взаимно отменяют друг друга. Обычные объекты сжимаются и расширяются при перемещении, и эти изменения скрываются за тщательно продуманным заговором, в котором задействованы все природные величины — электрические, оптические, механические, гравитационные. В системе Коперника мы имеем огромное усложнение описания, которое не имеет аналогов ни в чем, происходящем во внешнем мире; потому что термины нашего описания относятся к нерелевантному процессу вписывания в выбранные рамки пространства и времени. Эта сложная схема Коперника скорее напоминает одну из схем Белого Рыцаря —

Но я думал о плане
Красить бакенбарды в зеленый цвет,
И всегда пользоваться таким большим веером,
Чтобы их не было видно.

Мы не отрицаем тонкости и замечательной эффективности этого плана, но нам может быть позволено усомниться в том, что это простейшая интерпретация унылого однообразия представшей перед нами природы. Простой факт заключается в том, что земная или птолемеевская система отсчета естественным образом соответствует земным явлениям, а солнечная или коперниканская система отсчета соответствует явлениям солнечной системы; но мы не можем заставить одну систему отсчета служить для обеих, не внося неуместных осложнений.

В наши дни мы идем дальше Коперника и не довольствуемся посещением солнца. Зачем выбирать солнце, а не какую-то другую звезду, чтобы получить неискаженный взгляд на вещи? Астроном теперь ставит себя так, чтобы перемещаться с центром тяжести звездной вселенной, и даже тогда он не вполне удовлетворен. Физик мечтает о стране Вайсниха-Два, которая будет по-настоящему покоиться в эфире. Мы осознаем искажение, привнесенное в мир природы узкой точкой зрения, с которой мы наблюдаем за ним, и мы пытаемся поставить себя так, чтобы устранить это искажение — чтобы наблюдать то, что есть на самом деле. Но это тщетная погоня. Куда бы мы ни направили нашу камеру, фотография обязательно представляет собой двумерное изображение, искаженное в соответствии с законами перспективы; это никогда не истинное подобие самого здания.

Мы должны попробовать другой план. Я не думаю, что мы когда-либо сможем полностью исключить человеческий элемент в нашей концепции природы; но мы можем устранить конкретный человеческий элемент, а именно эти рамки пространства и времени. Если наше мышление должно быть антропоцентрическим, оно не обязательно должно быть геоцентрическим. Нам не будет лучше навсегда, если мы просто заменим пространственно-временные рамки какой-нибудь другой звездой или стандартом движения. Мы должны оставить рамки полностью неопределенными. Когда мы делаем это, мы обнаруживаем, что мир, общий для всех наблюдателей, в котором каждый наблюдатель прослеживает различные пространственно-временные рамки в соответствии со своим собственным мировоззрением, — это мир четырех измерений. Когда мы смотрим на какой-либо объект, скажем, на стул, впечатление, производимое нашими глазами, представляет собой двумерную картину, зависящую от положения, с которого мы смотрим; но у нас не возникает трудностей с представлением о стуле как о твердом объекте, не отождествляемом ни с одним из наших двумерных изображений этого объекта, но порождающем их все по мере изменения положения наблюдателя. Теперь мы должны осознать, что это твердое кресло в трех измерениях само по себе является лишь видимостью, которая изменяется в соответствии с движением наблюдателя, и что существует четырехмерный сверхобъект, который не следует отождествлять с трехмерным креслом в схеме Птолемея или тем же креслом в схеме Коперника, но который порождает обе эти видимости. Синтез трехмерного стула из нескольких плоских изображений дается нам легко, потому что мы привыкли принимать разные положения в быстрой последовательности; действительно, два наших глаза одновременно дают нам несколько разные точки зрения. По чистой необходимости наш мозг был вынужден сконструировать концепцию твердого стула, чтобы объединить эти меняющиеся внешние проявления. Но мы не изменяем наши движения в сколько-нибудь заметной степени, и наш мозг до сих пор не был призван комбинировать видимости для различных движений; таким образом, усилие, которое мы сейчас просим совершить мозг, является новым. Это объясняет, почему результат, кажется, выходит за рамки нашего обычного образа мышления.

Открытием, или, скорее, следует сказать, переоткрытием, мира четырех измерений обязан Минковский. Эйнштейн полностью разработал соотношения между рамками пространства и времени для наблюдателей с различными движениями. Гениальности Минковского мы обязаны осознанием того, что эти рамки представляют собой всего лишь системы перегородок, произвольно проведенных в четырехмерном мире, который является общим для всех наблюдателей.

Существует странное заблуждение, что четвертое измерение должно быть чем-то совершенно недоступным пониманию обычного человека и что только математик может быть посвящен в его тайны. Верно, что математик имеет преимущество в понимании технического механизма решения проблем, которые могут возникнуть при изучении мира четырех измерений; но в отношении концепции четырех измерений мира его точка зрения такая же, как и у любого другого. Предполагается ли, что интенсивным размышлением он вводит себя в некое состояние транса, в котором он воспринимает некое доселе неожиданное направление, простирающееся под прямым углом в длину, ширину и толщину? От этого было бы мало толку. Мир четырех измерений, о котором мы сейчас говорим, прекрасно знаком каждому. Каждому очевидно — даже математику, — что мир твердых и постоянных объектов имеет три измерения и не более; что объекты расположены в тройном порядке, который для любого конкретного человека может быть разделен на право-и-лево, взад-вперед, вверх-и-вниз. Но не менее очевидно для каждого, что мир *событий* имеет четыре измерения; что события расположены в четырехкратном порядке, который в опыте любого конкретного индивидуума будет анализироваться на право-и-лево, взад-вперед, вверх-и-вниз, *раньше-и-позже*. Предметом нашего изучения является внешняя природа, которая представляет собой мир событий, общих для всех наблюдателей, но представленных ими по-разному в их узких рамках пространства и времени; для самого обыденного опыта очевидно, что этот абсолютный мир содержит четырехчастный порядок.^[2]

Новость о том, что события вокруг нас формируют четырехмерный мир, так же устарела, как и новость о смерти королевы Анны. Причина, по которой релятивисты воскрешают этот древний трюизм, заключается в том, что только в этой неразрывной комбинации четырех измерений встречаются переживания всех наблюдателей. В нашем собственном опыте одно измерение резко отделено от трех других и обозначается как время; но наш опыт исключительно земной, и если мы настаиваем на построении схемы природы на чисто земном опыте, мы ограничиваем себя средневековой геоцентрической системой мира.

Мы привыкли рассматривать непреходящий мир как составленный из непрерывной последовательности мгновенных состояний, как если бы мир событий был *многослойным*. Предполагается, что каждое событие относится к определенному моменту или слою, и упорядоченная последовательность этих слоев составляет всю реальность. Момент "сейчас" представляет собой один такой слой, пронизывающий всю вселенную. Действительно, мы привыкли распространять его за пределы вселенной, и мы даже используем слово "сейчас" по отношению к существованию тех, кто ушел из материального мира. Исследования теории относительности неопровержимо показывают, что эта предполагаемая стратификация является иллюзией; нет ни малейших доказательств в пользу такого взгляда на структуру мира. Мгновенное состояние, которое мы до сих пор принимали за естественный слой в четырехмерном мире событий, является всего лишь произвольным разделением, созданным нами самими для соответствия нашему геоцентрическому мировоззрению. Мы можем взять раздел с другим наклоном,^[3] то есть раздел, который включает в себя, с одной стороны,

события, произошедшие с нами некоторое время назад, а с другой стороны, события, которые еще не произошли; такая нелепая комбинация во всех отношениях эквивалентна нашему так называемому мгновенному состоянию, и действительно, это *is* мгновенное состояние с точки зрения некоторых не-людей. - наземный наблюдатель с соответствующим заданным движением.

Признание того, что всемирный момент сейчас создан нами самими и не существует отдельно от нашего геоцентрического мировоззрения, настолько противоречит нашим естественным предрассудкам, что я потрачу несколько минут на то, чтобы показать его искусственность. Когда я говорю, что осознаю мгновение сейчас, я осознаю его только постольку, поскольку оно **ЗДЕСЬ** - внутри меня. Что же тогда заставило меня вообразить, что существует его продолжение вне меня? Это происходит потому, что я смотрю на мир и вижу различные события, происходящие "сейчас", так что я прихожу к выводу, что этот момент, который я осознаю, должен быть расширен, чтобы включить их в себя. Но эта идея - еще одно наследие темных веков, опровергнутое Ремером в 1675 году. В настоящий момент происходят не сами события, а чувственные впечатления, которые они порождают. Таким образом, мое оправдание для того, чтобы относить события вне меня к тем моментам, которые я осознаю, полностью исчезло. Однако, к сожалению, грубый взгляд на вещи не был устранен, но исправлен; было обнаружено, что непосредственные трудности могут быть преодолены, если локализовать внешние события не в момент нашего визуального восприятия их, а в момент, который мы пережили немного назад — с учетом, как мы говорим, времени распространения света. Таким образом, наши мгновения все еще были созданы для того, чтобы простирались в пространстве; но они были перенесены, как перегородки между событиями, искусственным процессом вычислений, а не непосредственной интуицией. Теория относительности признает эти *всемирные мгновения* такими, какие они есть, — искусственными разделениями, построенными для целей расчета. Я могу добавить, что он никоим образом не вмешивается в *локальные моменты*, которые формируют поток нашего сознания; он полностью признает, что цепь событий в такой временной последовательности представляет собой серию, совершенно отличающуюся по характеру от последовательности точек вдоль линии в пространстве. Те, кто подозревает, что теория Эйнштейна играет со временем неоправданные шутки, должны понимать, что она оставляет совершенно нетронутой ту временную последовательность, о которой мы имеем интуитивное представление, и ограничивается пересмотром искусственной схемы времени, которую Ремер впервые ввел в физику.

Изучение четырехмерного мира событий дает нам новое понимание процессов природы, потому что оно устраняет неуместную стратификацию в определенном направлении — мгновенные состояния, — которую мы так без необходимости ввели в наш привычный взгляд. Когда эта стратификация игнорируется, мы получаем возможность видеть процессы в их простейшем аспекте, хотя, конечно, и не в их самом знакомом аспекте. Мы должны различать простоту и фамильярность; свинья может быть наиболее знакома нам в виде ломтиков, *нонестратифицированная* свинья является более простым объектом изучения для биолога, который хочет понять, как функционирует животное.

Я завершу эту часть аргументации экспериментальным применением, которое иллюстрирует мощь метода Эйнштейна. В последнее время много внимания уделяется электронам, движущимся с очень высокими скоростями; например, β -частицы, вылетающие из радиоактивных веществ, представляют собой отрицательные электроны, которые иногда

достигают скорости 100 000 миль в секунду. Экспериментально установлено, что быстрое движение приводит к увеличению массы этих частиц. Я хочу показать, что теория относительности дает очень простое объяснение того, как именно происходит это увеличение массы. Но сначала я должен отметить, что ранее было дано объяснение, которое в целом было признано удовлетворительным. На самом деле это явление было предсказано Дж. Дж. Томсоном еще до появления теории относительности; потому что, предполагая, что масса частицы имеет электрическое происхождение, применение уравнений Максвелла показывает, что она должна увеличиваться со скоростью. Но точный закон увеличения не может быть предсказан на этой основе, поскольку различные правдоподобные допущения приводят к несколько разным результатам. Более того, уравнения Максвелла, в конце концов, являются всего лишь эмпирическими законами, обладающими собственной загадкой; было заметным достижением связать изменение массы на высоких скоростях с другими явлениями, странность которых исчезла из-за долгого знакомства, но все еще есть возможности для более далеко идущего объяснения. Эйнштейн подводит нас прямо к корню тайны и проясняет один момент, который вводил в заблуждение, если не был на самом деле неправильным, в более старом объяснении. Изменение массы никоим образом не зависит от того, имеет ли масса электрическое происхождение или нет; оно возникает просто из того факта, что масса является *относительной* величиной, зависящей по своему определению от относительных величин длины и времени. Давайте посмотрим на β -частицу с ее собственной точки зрения; это всего лишь обычный электрон, ничем не отличающийся от любого другого. "Но он движется необычно быстро?" "Это, - говорит электрон, - вопрос мнения. Насколько мне известно, я нахожусь в состоянии покоя, если слово "покой" имеет какое-либо значение. На самом деле я просто с изумлением созерцал *вашу* необычайную скорость в 100 000 миль в секунду, с которой вы проносите мимо меня. "Конечно, наше движение не имеет особого значения для электрона, и он не изменит свое строение из-за нас; таким образом, его масса, радиус, электрическое поле и т.д. Остаются равными стандартным постоянным, применяемым к электронам в целом. Эти термины относительны и, следовательно, относятся к некоторой конкретной системе отсчета пространства и времени — очевидно, системе отсчета, соответствующей электрону в самосозерцании, а именно. той, относительно которой он находится в состоянии покоя. Но эта система отсчета не является обычной геоцентрической системой отсчета, к которой *мы* относим такие величины, как длина, время и масса; существует разница в 100 000 миль в секунду между нашей станцией наблюдения и станцией β -частицы в самосозерцании. Это просто вопрос геометрии - выяснить, какими становятся длины и времена β -частицы, когда они соотносятся с разделами, которые мы провели по всему миру. Но когда мы вычисляем последующее изменение массы в результате изменений длины и времени, мы обнаруживаем, что оно должно увеличиваться точно в той пропорции, которая указана самыми совершенными экспериментами.

Дело в том, что каждый электрон, находящийся в состоянии покоя или в движении, представляет собой совершенно постоянную структуру; но мы искажаем ее, помещая в пространственно-временные рамки, соответствующие нашему собственному движению, к которому электрон не имеет никакого отношения. Чем больше наше движение относительно электрона, тем больше будет искажение. Искажение не вызвано каким-либо физическим фактором, действующим в электроне; это чисто субъективное искажение, зависящее от нашего преобразования системы отсчета пространства и времени. Это искажение влечет за собой изменение в нашем физическом описании электрона с точки зрения массы, формы, размера; и,

в частности, изменение массы в точности согласуется с тем, что обнаружено экспериментально.

Вы видите, что обсуждение естественных пространственно-временных рамок для наблюдателей, движущихся с огромными скоростями, не совсем праздно. Мы не знаем ни одного живого наблюдателя с такими скоростями; но мы знаем о неодушевленных материальных объектах. Их общее сходство затемняется, когда мы без разбора относим их к нашей нерелевантной геоцентрической системе отсчета; мы думаем, что они изменили свои свойства, изменились по массе и так далее; но сходство восстанавливается, когда мы относим каждого человека к соответствующей ему системе отсчета и таким образом описываем их всех в сопоставимых терминах.

Установлено, что наши измерения расстояний в пространстве подчиняются определенным законам - законам геометрии. Но теперь стало невозможно рассматривать предмет геометрии пространства как законченный сам по себе. Рассмотрим треугольник, образованный тремя точками (или событиями) в четырехмерном мире; если мы нарисовали наши мгновенные слои так, что три точки лежат в одном слое, тогда треугольник является пространственным треугольником и его свойства подпадают под рамки нашей классической геометрии. Но другой наблюдатель нарисует свои слои в другом направлении, и для него треугольник будет частично находиться в пространстве, а частично во времени, так что он не будет подходящим предметом для пространственной геометрии. Предмет геометрии находится в отчаянном положении, потому что Коперник и Птолемей не просто расходятся во мнениях относительно геометрии конфигурации; они даже расходятся во мнениях относительно того, применима ли к данной конфигурации пространственная геометрия. Ясно, что для его сохранения мы должны расширить нашу геометрию, чтобы включить в нее время, а также пространство. Позвольте мне привести иллюстрацию этого расширения. У земного наблюдателя может быть пространственный треугольник (образованный тремя точками или событиями в один и тот же момент), стороны которого он может измерить с помощью весов; у него также может быть "временной треугольник", образованный тремя событиями в разные даты, стороны которого он должен измерить с помощью часов.[4] Все вы знаете закон пространственного треугольника - если вы измеряете с помощью шкалы от A до B и от B до C , сумма показаний всегда *больше*, чем мера от A до C . Не так хорошо известно, что существует точно аналогичный закон для временного треугольника - что если вы проводите измерения с помощью часов от A до B и от B до C , сумма показаний всегда *меньше*, чем показания часов, измеряющих непосредственно от A до C . В пространственном треугольнике любые две стороны вместе *больше*, чем третья сторона; в треугольнике времени две стороны вместе *меньше*, чем третья сторона.[5] Оба этих закона должны быть объединены в нашей общей геометрии четырех измерений, так что это будет не такая простая геометрия, как та, к которой мы привыкли.[6]

Но вот на что я хотел бы обратить особое внимание. Очевидно, высказанное мною суждение о временных треугольниках не может быть отделено от соответствующего суждения о пространственных треугольниках. Когда мы отказываемся от средневековой геоцентрической точки зрения, мы должны признать, что они принадлежат к одной геометрии, частью или проекцией которой является наша обычная пространственная геометрия. Но если вы изучите предложение о временных треугольниках, вы увидите, что это утверждение о поведении часов при их движении, предмет, который, очевидно, относится к разделу механики. Когда мы имеем дело с четырехмерным миром, мы больше не можем различать геометрию и механику. Они

становятся одним и тем же предметом. Когда мы полностью овладеем геометрией мира событий, мы неизбежно изучим его механику. Вот почему Эйнштейн, изучая геометрию мира и обнаружив, что она строго неевклидова, обнаружил, что в то же время он изучал механическую силу тяготения. И когда он принял решение, какой из возможных разновидностей неевклидовой геометрии подчиняться, и таким образом установил законы новой геометрии, то же самое решение установило закон всемирного тяготения - закон, приближающийся к закону, данному Ньютоном, но не идентичный ему.

Здесь перед нами открывается широкая перспектива. Мы видим, что два великих раздела математической физики, а именно. геометрия и механика, встретились в четырехмерном мире. Дело не только в том, что механические проблемы могут быть решены с помощью формул, изначально относящихся к чистой геометрии; этот прием используется уже давно. Экспериментальная геометрия и механика на самом деле относятся к одному и тому же предмету; и молодой студент, который открывает экспериментальные законы с помощью линейки, циркуля и картонных фигурок, а позже переходит к маятникам и пружинным балансирам, разрабатывает единый предмет, который нельзя разделить не больше, чем магнетизм можно отделить от электричества.

Именно через это объединение геометрии и механики я хотел бы подойти к проблеме тяготения, показав, что силовое поле является проявлением геометрии пространства и времени. Но я боюсь, что это было бы слишком технично, поэтому мы подойдем к этому с другой стороны.

Мы показали, что созерцание мира с точки зрения единственного наблюдателя может исказить его простоту, и мы попытались получить более справедливое представление, приняв во внимание и объединив другие точки зрения. Чем больше точек зрения, тем лучше. Давайте теперь рассмотрим другую точку зрения, о которой мы ранее не задумывались, — точку зрения наблюдателя, который вывалился из самолета и падает вниз головой. Во многих отношениях его ситуация идеальна — временно. К сожалению, *на твердой земле* мы постоянно подвергаемся очень тревожному воздействию; мы подвергаемся ужасающей бомбардировке молекулами почвы, которые ударяют по подошвам наших ботинок с общей силой примерно в десять стоунов весом, прижимая нас кверху. Теперь наши тела - это научные приборы, которые мы используем для наших общих наблюдений за миром. Я уверен, что ни один физик не позволил бы кому-либо входить в его лабораторию и стучать по своим часам и гальванометрам, пока он наблюдал с их помощью; во всяком случае, он счел бы необходимым внести некоторые поправки на эффект возмущения. Давайте тогда позволим себе свободно упасть *в вакуум*; тогда мы будем свободны от этой беспокоящей бомбардировки и сможем гораздо более естественно взглянуть на то, что происходит вокруг нас.

Во время падения мы проводим эксперимент с отпусканием яблока, которое держим в руке. Яблоко теперь свободно, но оно не может упасть больше, чем уже падало; следовательно, оно остается в равновесии, соприкасаясь с нашей рукой. В нашем новом мировоззрении — в наших новых рамках пространства и времени — яблоко не падает. Нет никакой таинственной силы, ускоряющей его падение. И помните, что эта новая структура пространства и времени является естественной структурой свободного наблюдателя; тогда как старая структура, в которой проявилась таинственная ускоряющая сила, была структурой очень сильно обеспокоенного наблюдателя. Это правда, что когда мы смотрим вниз, на землю, мы видим деревья и дома, несущиеся нам навстречу; но в этом нет никакой тайны. Для этого есть очевидная причина;

очевидно, что они движутся снизу вверх в результате той молекулярной бомбардировки, о которой я упоминал. Вы видите, что взгляд яблока на вещи проще, чем у Ньютона. Ньютону пришлось изобрести таинственную силу, тянущую яблоко вниз; яблоко наблюдает только знакомую физическую силу, толкающую Ньютона вверх.

В мои намерения не входит излишне подчеркивать превосходство точки зрения Apple над точкой зрения Ньютона, а скорее рассматривать их на равной основе. Возможно, я был немного несправедлив к Ньютону. Его положение на поверхности земли было неудачным, но он был бы вполне доволен пребыванием в центре земли, где он мог бы оставаться без поддержки, то есть без помех от молекулярной бомбардировки. Оттуда он все равно наблюдал бы хорошо известное ускорение яблока; а яблоко наблюдало бы соответствующее ускорение в Ньютон без какой-либо молекулярной бомбардировки, вызывающей это. С любой точки зрения здесь действует таинственный агент. Как мы должны представить себе этого агента? Должны ли мы представить его как силу — своего рода рывок? Но если да, то к какому из них применяется рывок? Если мы встанем на точку зрения Ньютона, рывок будет применен к яблоку, если на точку зрения яблока, рывок будет применен к Ньютону; так что в нашем синтезе всех точек зрения мы не можем решить, за какую из них тянут, и картина гравитации как притягивающего агента становится невозможной. Эйнштейн заменяет ее другой картиной, которую мы, возможно, лучше поймем, если сравним с очень похожей революцией в научной мысли, произошедшей давным-давно.

Древние верили, что земля плоская. Небольшая часть ее поверхности, которая их в основном интересовала, могла быть представлена без серьезных искажений на плоской карте. По мере добавления все более отдаленных стран было бы естественно предположить, что они также могут быть включены в плоскую карту. Вы все видели такие карты мира, например, проекцию Меркатора, и наверняка помните, что Гренландия кажется чудовищно увеличенной в размерах. Теперь те, кто придерживался теории плоской земли, должны считать, что плоская карта дает *истинный* размер Гренландии. Как же тогда они объяснят, что путешественники в этой стране сообщали, что расстояния были намного короче? Я полагаю, они бы придумали теорию о том, что в этой стране обитал демон, который помогал путешественникам в их пути, из-за чего путешествия казались намного короче, чем они были "на самом деле". Несомненно, ученые сохранили бы свое самоуважение, используя какое-нибудь греко-латинское многосложное слово вместо слова "демон", но это не должно скрывать от нас того факта, что они апеллировали к *deus ex machina*. Однако имя демон довольно подходит, потому что у него есть такая озорная черта характера, что мы не можем привязать его к какой-то конкретной местности. С таким же успехом мы могли бы начать нашу плоскую карту с центра Гренландии; тогда обнаружилось бы, что путешествия туда были вполне нормальными и что деятельность демона беспокоила путешественников в Европе. Теперь мы признаем, что истинное объяснение заключается в том, что поверхность земли изогнута; а демонические сложности возникли из-за того, что мы придавали поверхности земли неподходящую плоскую форму, которая искажает простоту вещей.

То, что произошло в случае с землей, произошло и в случае с миром, и необходима аналогичная революция мышления. Наблюдатель, скажем, находящийся в центре земли, обнаруживает, что существует система пространства и времени — плоская или евклидова система, — в которой он может определять местоположение событий, происходящих по соседству, не искажая их естественной простоты. Нетяготения, нет тенденции тел падать, пока

наблюдатель ограничивает свои наблюдения своим непосредственным окружением. Он расширяет эти рамки пространства и времени на большие расстояния и, в конечном счете, до поверхности земли, где сталкивается с феноменом падающих яблок. Это новое явление должно быть объяснено, поэтому он изобретает *deus ex machina*, который он называет гравитацией, действию которой приписывается возмущение. Но мы уже видели, что с таким же успехом можем начать с падающего яблока. Он имеет плоские рамки пространства и времени, в которые явления по соседству с ним вписываются без искажений; и с его точки зрения тела рядом с ним не претерпевают никакого ускорения. Но когда он расширяет эту структуру дальше, простота теряется; и ему тоже приходится постулировать демоническую силу тяготения, существующую в отдаленных частях и, например, заставляющую невозмущенные объекты в центре земли падать к ней. По мере того, как мы переходим от одного наблюдателя к другому — от одной плоской пространственно-временной рамки к другой, — мы должны менять область активности этого демона. Разве решение теперь не очевидно? Демон - это просто сложность, возникающая, когда мы загоняем мир в плоские евклидовы пространственно-временные рамки, в которые он не вписывается без искажений. Это не укладывается в рамки, потому что *это не евклидов или плоский мир*. Допустим искривление мира, и таинственное возмущение исчезнет. Эйнштейн изгнал демона.

Эйнштейну, осознавшему, что в явлениях тяготения он имеет дело не с "рывком", а с искривлением мира, пришлось пересмотреть закон всемирного тяготения. Он не мог привести ни один возможный закон кривизны в точное соответствие с ранее предполагавшимся законом вытягивания. Таким образом, он был вынужден выдвинуть новый закон всемирного тяготения — закон, который в большинстве практических случаев очень мало отличается от закона Ньютона, хотя и имеет существенно иную основу. Мне нет нужды здесь останавливаться на весьма примечательном способе, которым исправление Эйнштейном закона всемирного тяготения было подтверждено как аномальным вековым изменением орбиты планеты Меркурий, так и наблюдаемым смещением звезд вблизи Солнца во время полного затмения 1919 года. Я мог бы, однако, напомнить вам, что в последнем наблюдении спорным моментом между теориями Ньютона и Эйнштейна было *несуществование* отклонения световых лучей, проходящих вблизи солнца, а величина отклонения, поскольку Эйнштейн предсказал вдвое большее отклонение, возможное в ньютоновской теории. Большее отклонение было количественно подтверждено наблюдениями за затмением. Главное достижение Эйнштейна - это новый закон, а не новое объяснение гравитации. Он связывает тяготение массивных тел с искривлением мира в окружающей их области и, таким образом, проливает поток света на проблему в целом; но его в первую очередь не интересует объяснение того, как материальные тела создают (или связаны с ними) это искривление мира вокруг них, или как это искривление подчиняется какому-либо закону. Хотя было бы полным непониманием позиции Эйнштейна при выдвижении общей теории относительности рассматривать ее как поиск объяснения гравитации, тем не менее я думаю, что дальнейшее развитие его идей привело к подлинному объяснению, настолько полному, насколько можно было желать. Но я не собираюсь давать вам объяснения в этой лекции; иногда объяснение требует долгих объяснений.^[7]

Я думаю, что мы можем без помощи математики составить общее представление о том, почему Эйнштейн счел необходимым внести поправки в закон всемирного тяготения Ньютона. Давайте вернемся к иллюстрации со свиньей и представим, что мы хотим открыть закон, регулирующий распределение жира и нежирной массы в организме животного. С точки зрения питания за завтраком правдоподобным законом было бы то, что половина каждого рашера жирная, а

другая половина нежирная; и если окажется, что это очень приблизительно подтверждается наблюдениями, мы вполне можем вообразить, что открыли точный закон строения свинины. Но ситуация меняется, если мы оставим точку зрения на завтрак и рассмотрим животное в более общем плане, помня, что оно не было спроектировано с какой-либо конкретной привязкой к серии ломтиков, на которые наш бакалейщик решил его нарезать. Теперь мы должны искать совершенно другой тип права. Могут возникнуть две возможности. Мы можем обнаружить, что предложенный нами закон, хотя и выраженный обычным языком за завтраком, тем не менее эквивалентен возможному биологическому закону; его можно немедленно перевести в более общее утверждение, которое не имеет отношения к конкретной стратификации. Но, с другой стороны, может случиться так, что предлагаемый закон не может быть освобожден от этой ссылки на конкретную систему нарезки. В этом случае мы можем рассматривать его только как приблизительный, возможно, он достаточно хорошо подходит для тех срезов, с которыми у нас больше всего опыта, но становится все менее и менее точным для более извилистых частей животного. Оба эти случая проиллюстрированы модификациями классической теории Эйнштейна. Закон всемирного тяготения Ньютона явно относится к пространственно-временным рамкам и, следовательно, к миру, разделенному на мгновенные состояния. Оказывается невозможным освободить его от этой ссылки на конкретную стратификацию, не изменяя ее. Фактически, если бы важнейшие астрономические наблюдения показали, что закон тяготения Ньютона, а не Эйнштейна, был точным законом всемирного тяготения, это было бы свидетельством реального расслоения структуры мира — расслоения, не обнаруживаемого никакими другими явлениями. Закон Эйнштейна является более простым законом, потому что он согласуется с тем, что мы сейчас знаем об общем плане устройства мира; закон Ньютона мог стать возможным только путем введения новой и специализированной особенности — стратифицированного расположения структуры, — которая не обнаруживается ни в каких других явлениях.

Законы электромагнетизма Максвелла представляют собой пример другого типа. Они, это правда, заявлены как относящиеся к конкретным фрагментам мира событий, которые подаются нам, как ломтики хлеба, мгновение за мгновением. Но они могут быть переформулированы без изменения эффекта в форме, не относящейся к срезам. Это очень замечательное свойство уравнений Максвелла, которое было совершенно неизвестно в то время, когда они были впервые выдвинуты. Это было выявлено гораздо позже в результате исследований Лармора и Лоренца. Вследствие этого Эйнштейн может принять всю классическую теорию электромагнетизма без изменений; он переформулирует ее так, чтобы показать, как она применима в целом и не связана с чисто земной точкой зрения, но он не вносит изменений в законы. Он по-разному относится к законам тяготения и электромагнитным законам, потому что считает, что последние уже адаптированы к его схеме.

Если я преуспею в достижении своей цели, вы поймете, что нынешняя революция научной мысли естественным образом следует за великими революциями более ранних эпох в истории науки. Специальная теория относительности Эйнштейна, объясняющая неопределенность рамок пространства и времени, венчает работу Коперника, который первым заставил нас отказаться от геоцентрического взгляда на природу; общая теория относительности Эйнштейна, которая раскрывает кривизну или неевклидову геометрию пространства и времени, развивает рудиментарную мысль тех ранних астрономов, которые первыми предположили возможность того, что их существование основано на чем-то, что не было плоским. Эти более ранние революции все еще являются источником детских недоумений,

которые мы вскоре перерастаем; и придет время, когда удивительные откровения Эйнштейна также войдут в обиход образованного мышления.

Освободить нашу мысль от оков пространства и времени - это стремление поэта и мистика, к которому несколько холодно относятся ученые, у которых есть слишком веские основания опасаться возможной путаницы в расплывчатых идеях. Если у других были подозрения относительно желаемого результата, то Эйнштейну было предоставлено показать способ избавиться от этих "земных привязанностей к мышлению". И, снимая с нас оковы, он оставляет нам не (как можно было бы опасаться) расплывчатые обобщения для экстатического созерцания мистика, а точную схему структуры мира для математического физика.

[1] Единственной альтернативой является то, что (относительно солнечного наблюдателя) скорость света отличается в разных направлениях, по крайней мере, в регионе, где проводится эксперимент. Предположительно, это было бы связано с некоторым влиянием движущейся земли на распространение света (конвекция эфира). Одно время этому объяснению отдавали предпочтение, но его нельзя было согласовать с наблюдаемыми явлениями абберации света.

[2] Теория относительности не предполагает, что в природе существует такая вещь, как четырехмерное пространство. Вся цель признания четырехмерного мира состоит в том, чтобы устранить мешающие рамки пространства.

[3] Наклон не должен превышать определенного предела. Этот предельный угол можно рассматривать как фундаментальную константу структуры мира, и в силу своего фундаментального характера он проявляется во многих явлениях; например, он определяет скорость распространения света. Момент на солнце, который совпадает с данным моментом на земле, является неопределенным (варьируется в зависимости от используемого пространства и временных рамок), но только в пределах 16 минут. Любое событие на солнце, произошедшее до этих 16 минут, *абсолютно* осталось в прошлом, с этим согласны все наблюдатели; фактически, мы могли бы уже получить беспроводное сообщение, извещающее о его возникновении. События после 16 минут происходят в *абсолютном* будущем. Нейтральная зона, которая (абсолютно) не является ни прошлым, ни будущим, становится пропорционально шире по мере увеличения расстояния; у ближайшей неподвижной звезды она простирается до 8 лет, а у самых отдаленных из известных звезд достигает 400 000 лет.

[4] Три события не должны происходить в одном и том же месте, поскольку это дало бы *линию* времени, а не треугольник. Часы должны двигаться так, чтобы оба события, время-расстояние между которыми должно быть определено, произошли там, где они есть, точно так же, как шкала должна быть направлена так, чтобы на нее попадали две точки. Вам не разрешается "сгибать" часы, то есть прикладывать силу, чтобы заставить их двигаться с иной, чем равномерная скорость, так же как вам не разрешается сгибать шкалу, прикладывая силу.

[5] Конечно, неверно, что *любые* две стороны меньше третьей стороны. Часы, в отличие от весов, могут измерять только в одном направлении, а именно. из прошлого в будущее, так что стороны $AB + BC$ и AC могут быть выбраны только одним способом.

[6] Это включает лишь сравнительно незначительное обобщение евклидовой геометрии, которое не следует путать с "неевклидовой" геометрией, представленной позже в лекции.

[7] Следующий краткий обзор даст представление о характере объяснения. Закон всемирного тяготения Эйнштейна обычно выражается в виде набора из десяти очень длинных дифференциальных уравнений; эти уравнения в точности эквивалентны геометрическому утверждению о том, что "радиус сферической кривизны любого трехмерного сечения четырехмерного мира является универсальной постоянной длиной, одинаковой для всех точек мира и для всех направлений сечения". Таким образом, закон подразумевает, что мир обладает определенным типом однородности и изотропии (однако не *полной* однородностью и изотропией сферы). Чтобы объяснить закон всемирного тяготения и явления, управляемые им, мы должны объяснить, как обеспечивается эта изотропия и однородность. Наше объяснение состоит в том, что однородность и изотропия изначально присущи не внешнему миру, а *тем измерениям, которые мы проводим по нему*. Он используется во всех наших измерительных операциях, потому что приборы, которые мы используем для измерений, сами по себе являются частью мира. В предыдущей части этой лекции мы видели, что сокращение руки, повернутой из горизонтального положения в вертикальное, не обнаруживается при измерениях, выполненных с помощью меры в ярдах, которая разделяет сокращение; точно так же любая анизотропия окружающего мира не проявляется при измерениях приборами, которые, будучи частью окружающего мира, разделяют ту же анизотропию. Таким образом, закон всемирного тяготения вытекает из того факта, что определенный тип неоднородности и неизотропии мира не может войти в опыт наблюдений, поскольку он обязательно устраняется во всех наблюдениях и измерениях, производимых с помощью материальных приборов. Упорядоченные явления гравитации обусловлены *отсутствием* определенных мыслимых эффектов. Мы пытались найти ключ к этой тайне, но секрет замка кроется не в ключе, а в берегах.